

水素を燃料とする荷役機械に係る動向

国土交通省港湾局産業港湾課

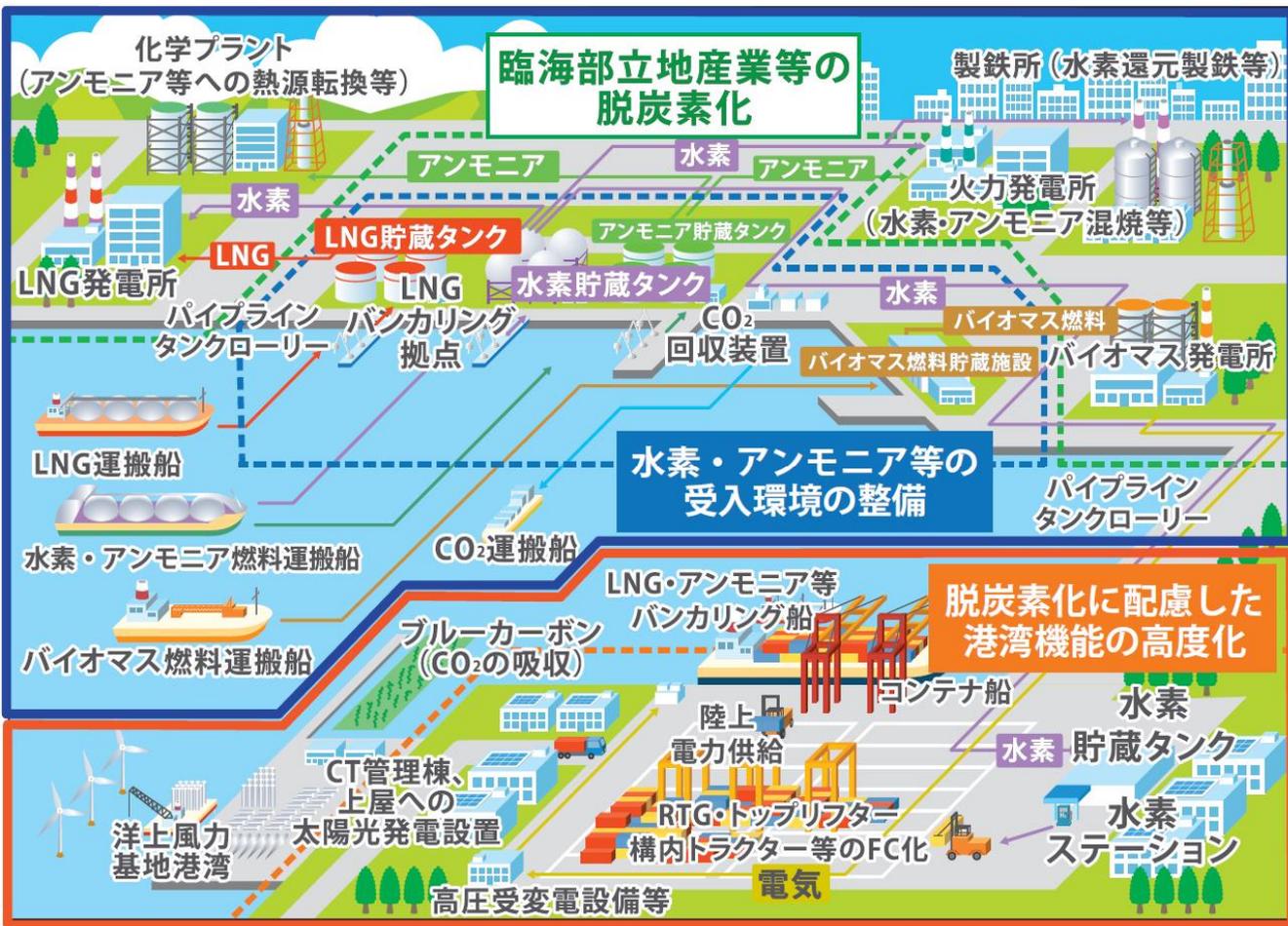
1. 港湾ターミナルの脱炭素化について
2. 水素を燃料とする荷役機械等の開発・導入状況
3. 水素の供給体制について

1. 港湾ターミナルの脱炭素化について

カーボンニュートラルポート(CNP)の形成

- サプライチェーン全体の脱炭素化に取り組む荷主等のニーズに対応し、脱炭素化に配慮した港湾機能の高度化を図ることにより、荷主や船社から選ばれる競争力のある港湾を形成する。
- また、温室効果ガスの排出量が多い産業等が多く集積する港湾・臨海部において、水素・アンモニア等の受入環境の整備を図ることにより、産業の構造転換及び競争力の強化に貢献する。
- これらにより、我が国が目標とする2050年カーボンニュートラルの実現に貢献する。

「カーボンニュートラルポート(CNP)」の形成のイメージ



産業の構造転換及び競争力強化への貢献

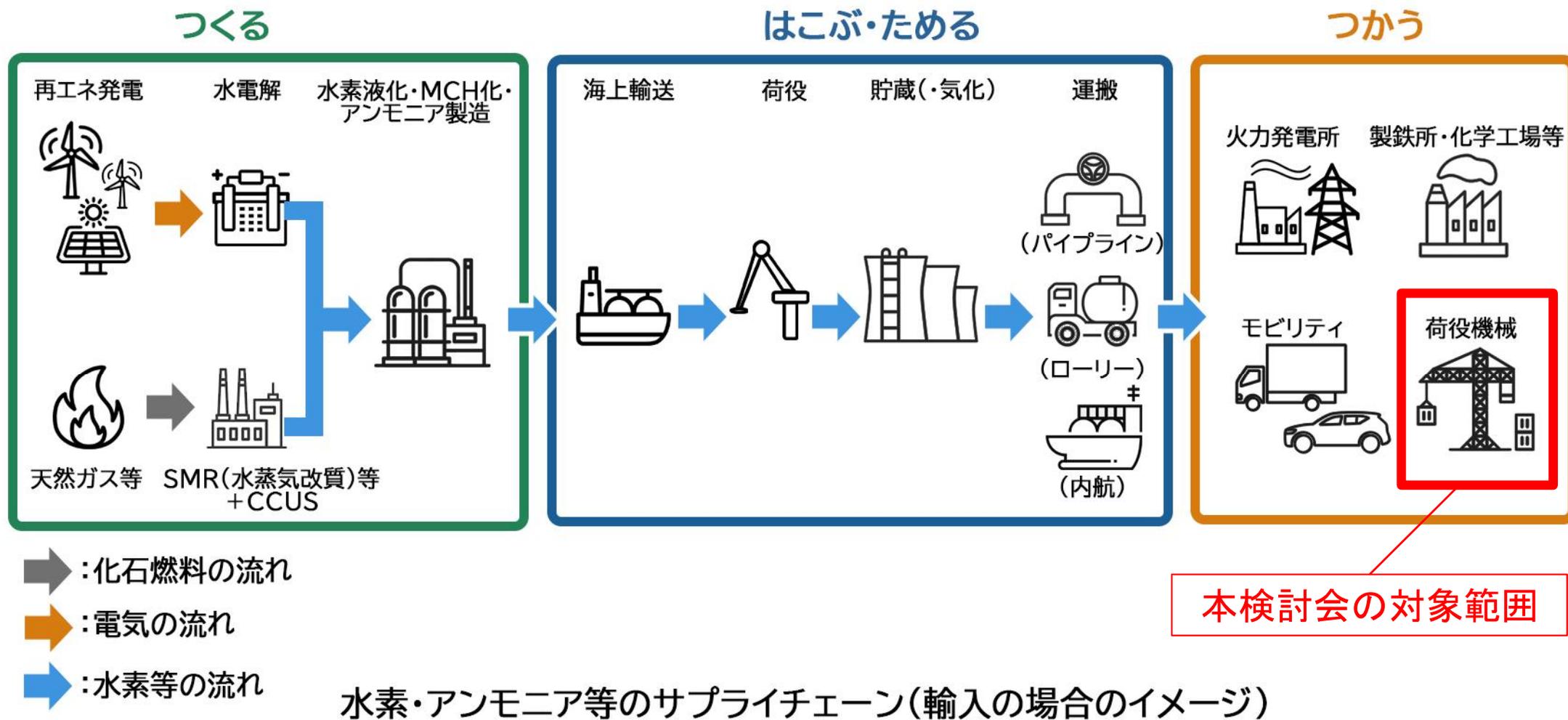
産業のエネルギー転換に必要な水素やアンモニア等の供給に必要な環境整備を行うことで、港湾・臨海部の産業構造の転換及び競争力の強化に貢献

荷主や船社から選ばれる競争力のある港湾を形成

世界的なサプライチェーン全体の脱炭素化の要請に対応して、港湾施設の脱炭素化等への取組を進めることで、荷主や船社から選ばれる、競争力のある港湾を形成

本検討会の対象範囲

- 水素等の導入を推進するためには、「つくる」「はこぶ・ためる」「つかう」の各段階での技術開発や実装に向けた取組が必要。
- 本検討会では、港湾の荷役機械での水素の利用(運搬時の検討を含む)に焦点を当て、そのうち、実証事業が始まり実装が視野に入っている「RTG」から検討を開始することとする。



- 港湾のターミナル等における温室効果ガス排出量の試算結果は以下のとおり(令和元年データ、国交省調べ)。
- ・国内の国際戦略港湾・国際拠点港湾・重要港湾(125港)の港湾のターミナル等における温室効果ガス排出量は、約900万トン。
 - ・内訳は、背後圏輸送が約324万トン(約36%)。停泊中船舶が約273万トン(約30%)、荷役機械が151万トン(約17%)の順に大きい(全体の約83%を占める)。
- (参考:日本の温室効果ガス総排出量(令和4年度)は約11.4億トン)

温室効果ガス排出量の試算結果(令和元年)及び脱炭素化に向けた主な取組

排出源	排出量 (万t-CO2/年)	割合 (%)	主な取組
背後圏輸送	324	36.1	構外トラクター、トラックの低・脱炭素化(ハイブリッド化、電動化、水素燃料化等)
停泊中船舶(内航船、外航船)	273	30.4	船舶への陸上電力供給 船舶燃料の低・脱炭素化(LNG、メタノール、アンモニア等)
荷役機械	151	16.8	荷役機械の低・脱炭素化(ハイブリッド化、電動化、水素燃料化等)
海面埋立から発生するメタン	71	7.9	—
管理棟	66	7.3	省エネ対策(照明のLED化等)
リーファーコンテナ	7	0.8	省エネ対策(ルーフシェード設置等)
燃料の燃焼から発生するN2O	4	0.4	—
渋滞(ゲート待ち車両)	2.5	0.3	渋滞解消対策(DX化)
合計	898.5	100	

(注)上記の他、吸収源として、ブルーカーボン生態系によるCO2固定量を4.5万t-CO2/年と試算。

港湾法基本方針における水素を燃料とする荷役機械の位置付け

○港湾における脱炭素化の取組の推進等に向けて、令和4年11月に港湾法を改正するとともに、令和5年3月に「港湾の開発等に関する基本方針」を変更して荷役機械の低・脱炭素化等に戦略的に取り組むこと等が位置付けられた。

基本的な考え方

(略)脱炭素経営に取り組む荷主等のニーズへ対応するため、サプライチェーンの海陸の結節点となる[港湾において脱炭素化に取り組む](#)ことで、港湾の競争力を強化していく。(略)

I 港湾の開発、利用及び保全の方向に関する事項

1 特に戦略的に取り組む事項

(2)観光立国と社会の持続的発展を支える港湾機能の強化と港湾空間の利活用

③海洋再生可能エネルギーの利用及び脱炭素化に資する港湾空間の利活用の推進

以下の施策に戦略的に取り組む。

●[荷役機械等の低・脱炭素化](#)、船舶への低・脱炭素燃料の供給等をはじめとする「排出源対策」の促進

II 港湾の配置、機能及び能力に関する基本的な事項

1 特に戦略的に取り組む事項に係る基本的な事項

(1)我が国の産業と国民生活を支える海上輸送網の構築と物流空間の形成

①グローバルバリューチェーンを支える国際海上輸送網の構築と物流機能の強化

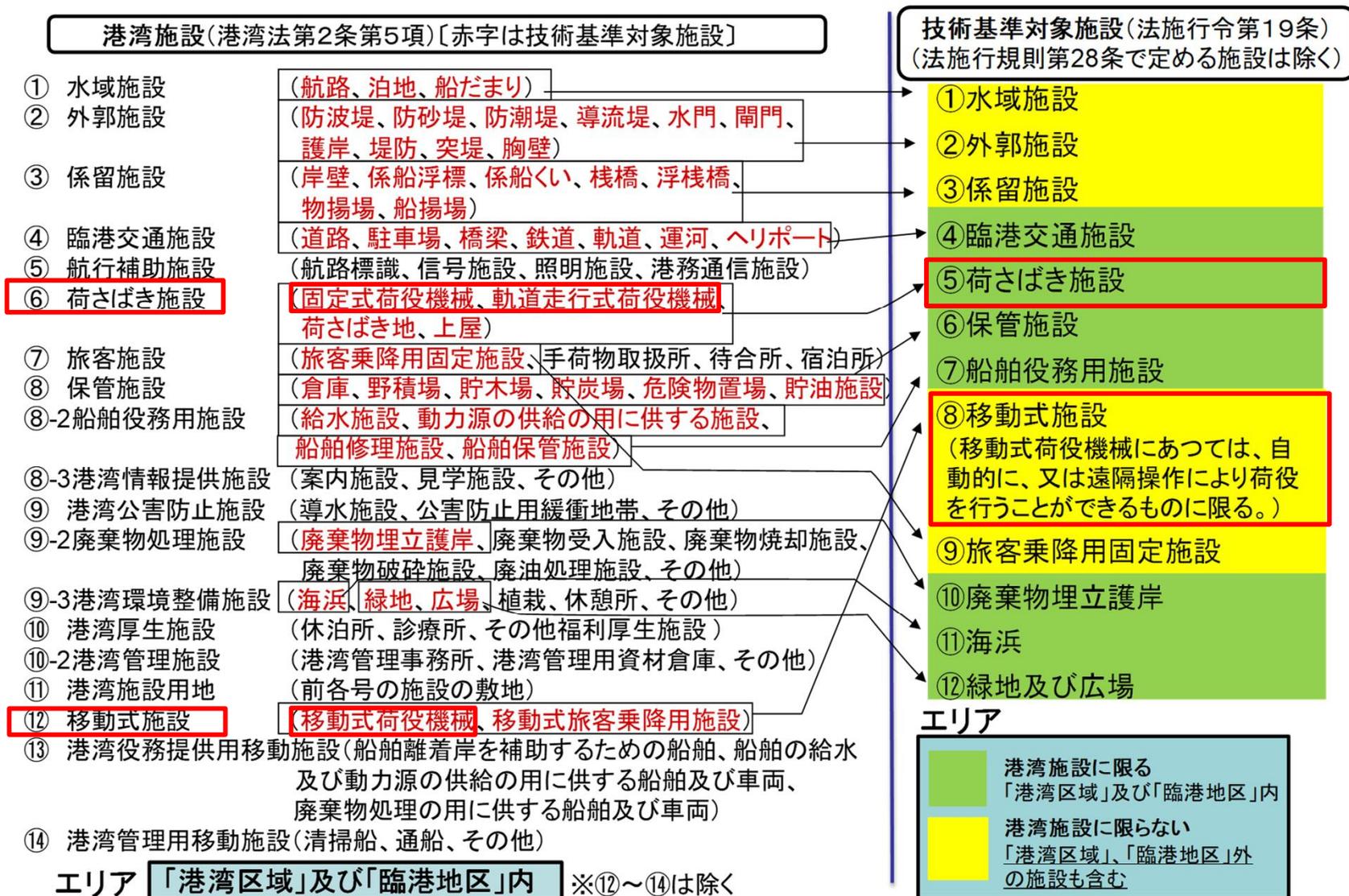
<国際基幹航路等の戦略的強化>

以下の施策に戦略的に取り組む。

・グリーン電力の確保や[水素等を原動力とする荷役機械の導入](#)などのコンテナターミナルの脱炭素化、低・脱炭素燃料バンカリングへの対応

港湾法における荷役機械の位置付け

- 港湾法第2条第5項において、荷役機械は「荷さばき施設」または「移動式施設」として港湾施設に位置付けられている。
- 港湾法第56条の2の2において、港湾の施設を建設、改良、維持する際に適用する基準である「港湾の施設の技術上の基準」（以下「技術基準」という。）が規定されている。
- 港湾法施行令第19条において、荷役機械（移動式荷役機械については自動的に、又は遠隔操作により荷役を行うことができるものに限る）は、技術基準の対象施設に位置付けられている。



脱炭素型の港湾荷役機械の特徴比較

- 脱炭素型荷役機械を燃料で大別すると3つに分類できるが、技術面・運用面、コスト面、脱炭素効果で一長一短があり、立地港湾やターミナルの特色、燃料調達コストや供給体制の整備状況に応じて使い分けることが想定される。
- このうち、港湾のターミナルでの導入実績がほとんどなく、技術面・運用面で懸念のある水素燃料型に焦点を当て、稼働実証を行う。

使用燃料	技術面・運用面	コスト面	脱炭素効果
水素 (水素燃料電池型、水素エンジン型)	<ul style="list-style-type: none"> ○給電設備(地上配線、受変電設備等)が不要であり、蔵置スペースへの制約が少ない ●港湾のターミナルでの導入実績がほとんどなくターミナルのオペレーションへの適合や水素の安全・安定的な供給体制の構築が未知数 	<ul style="list-style-type: none"> ●荷役機械の新造・改造、水素を充填する設備の導入に関する初期投資負担が大きい ●水素の安定・安価な供給体制が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ○グリーン・ブルー水素を調達できれば脱炭素効果が発揮できる ●グリーン・ブルー水素の安定・安価な供給体制が未知数
電力(電動)	<ul style="list-style-type: none"> ○技術が確立しており、導入実績も多数あり ○エネルギーの充填が不要 ●給電設備(地上配線、受変電設備等)を設置するため、蔵置スペースの削減、レイアウト変更が必要 ●レーンチェンジに時間を要する 	<ul style="list-style-type: none"> ○他の方式と比べるとコスト競争力がある ●電源の脱炭素化に伴い電力料金の上昇も懸念される 	<ul style="list-style-type: none"> ○脱炭素電源(再エネ等)を調達できれば脱炭素効果が発揮できる ●脱炭素電源の安定・安価な供給体制が未知数
バイオ燃料、合成燃料	<ul style="list-style-type: none"> ○既存のディーゼルエンジンの活用が可能であり、運用は比較的容易 ○給電設備(地上配線、受変電設備等)が不要であり、蔵置スペースへの制約が少ない 	<ul style="list-style-type: none"> ○既存の設備を転用可能 ●燃料の安定・安価な供給体制が必要 	<ul style="list-style-type: none"> ○バイオ燃料、合成燃料を調達できれば脱炭素効果が発揮できる ●燃料の安定・安価な供給体制が未知数

注:RTGを念頭に、国土交通省港湾局にて整理

脱炭素化に向けた水素の利用について

- エネルギー基本計画(令和3年10月22日 閣議決定)において、2030年度のエネルギー需要を満たす一次エネルギー供給のうち、水素・アンモニアが1%程度との見通しが示されている。
- また、同計画において、2050年カーボンニュートラル実現に向け、電化が困難な部門では、水素、合成メタン、合成燃料の活用などにより脱炭素化することが想定されている。

エネルギー基本計画(令和3年10月22日 閣議決定)の概要

2030年度におけるエネルギー需給の見通しのポイント

		(2019年 ⇒ 旧ミックス)	2030年度ミックス (野心的な見通し)
省エネ		(1,655万kl ⇒ 5,030万kl)	6,200万kl
最終エネルギー消費(省エネ前)		(35,000万kl ⇒ 37,700万kl)	35,000万kl
電源構成 発電電力量: 10,650億kWh ⇒ 約9,340 億kWh程度	再エネ	(18% ⇒ 22~24%)	36~38%※
	水素・アンモニア	(0% ⇒ 0%)	1%
	原子力	(6% ⇒ 20~22%)	20~22%
	LNG	(37% ⇒ 27%)	20%
	石炭	(32% ⇒ 26%)	19%
	石油等	(7% ⇒ 3%)	2%
	(+ 非エネルギー起源ガス・吸収源)		
温室効果ガス削減割合		(14% ⇒ 26%)	46% 更に50%の高みを目指す

※現在取り組んでいる再生可能エネルギーの研究開発の成果の活用・実装が進んだ場合には、38%以上の高みを目指す。

(再エネの内訳)
太陽光 14~16%
風力 5%
地熱 1%
水力 11%
バイオマス 5%

2050年カーボンニュートラル実現に向けた課題と対応のポイント (抜粋)

- 非電力部門は、脱炭素化された電力による電化を進める。電化が困難な部門(高温の熱需要等)では、水素や合成メタン、合成燃料の活用などにより脱炭素化。

港湾における水素の利用について

- 水素基本戦略において、港湾は水素の大規模な需要創出のポテンシャルを有するとされ、水素普及の好循環を生み出すための一定の「塊」の需要を生み出す場として想定されている。
- 港湾のターミナルは、港湾立地企業における大規模な需要と合わせて、将来的に水素を効率的かつ経済的に利用できる可能性を有している。

水素基本戦略(令和5年6月6日 再生可能エネルギー・水素等関係閣僚会議決定)

～港湾・臨海部における需要創出等に関する記載の抜粋～

第3章 水素社会実現の加速化に向けた方向性

3-4. 大規模なサプライチェーン構築に向けた支援制度の創設

(2) 需要創出に資する効率的な供給インフラの整備に向けた制度整備

(略)そのため、今後10年間で産業における大規模需要が存在する大都市圏を中心に大規模拠点を3か所程度、産業特性を活かした相当規模の需要集積が見込まれる地域ごとに中規模拠点を5か所程度整備する。なお、**港湾・臨海部では、既存の産業等の集積により水素の大規模な需要創出のポテンシャルを有することに加え、船舶を利用した大規模な輸送やその後の貯蔵を効率的に行うことができ、さらに、産業構造の転換時における埠頭の再編など、既存設備等を有効に活用しつつ効率的に水素の拠点を整備することも可能**である。加えて、その背後圏においても広域需要創出に向け、効率的な供給インフラの整備を支援する。

第4章 水素産業競争力強化に向けた方向性

4-2. 水素産業戦略

(3) 燃料電池

A) 燃料電池ビジネスの産業化

③塊の需要の創出

水素の流通量、供給拠点が限られる中で、**燃料電池のコストダウンと水素普及の好循環を生み出すには、一定の「塊」の需要を生み出していくことが必須**となる。**典型的なものとして、港湾**や工業団地、モデル都市といった面的な広がり、カーボンニュートラルの達成のため熱利用を水素バーナーやボイラーで利用するといった業種ごとの横展開が想定され、**こういった塊の需要創出に貢献する事業に政策資源を重点的に振り向けていく。**

2. 水素を燃料とする荷役機械等の開発・導入状況

コンテナターミナルにおける荷役機械の例

- コンテナターミナルでは、岸壁とコンテナ船の間のコンテナの積下ろし作業を行うコンテナクレーンやコンテナヤード内でトラクターへの積下ろし作業を行うRTG等、作業場所に応じた様々な荷役機械が存在する。
- 規模や取扱量等により、適切な荷役機械が導入され、安全性・効率性を両立させたオペレーションが実施されている。

構内トラクター

駆動方式：ディーゼルエンジン



(出典) 藤島運輸HP

トップリフター

駆動方式：ディーゼルエンジン



(出典) アートプロHP

リーチスタッカー

駆動方式：ディーゼルエンジン



(出典) 三菱ロジスネクストHP

ストラドルキャリア

駆動方式：ディーゼルエンジン発電



(出典) 港湾荷役システム協会HP

RTG

駆動方式：ディーゼルエンジン発電



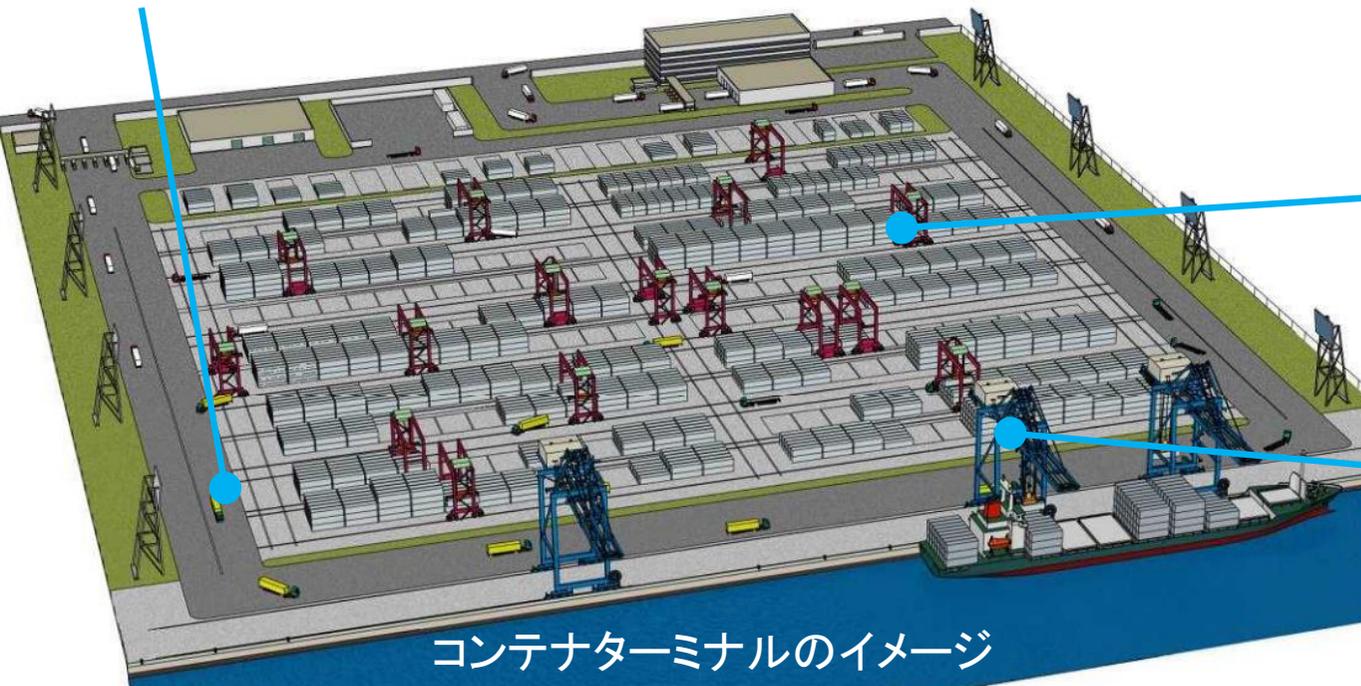
(出典) 日本郵船HP

コンテナクレーン

駆動方式：電動(系統電力)



(出典) 港湾技能研修センターHP



コンテナターミナルのイメージ

水素を燃料とする荷役機械等の開発・導入状況①

○FC(水素燃料電池)RTGを国内メーカーが商用化・技術開発中。国内外のターミナルで現地実証が行われている。
 ○その他、国外ではストラドルキャリア、リーチスタッカー、トップリフター等も実証中であり、今後、コンテナターミナルにおいて水素の普及が拡大する可能性がある。

荷役機械等	港湾名(国名)	駆動方式	荷役機械等メーカー	概要
RTG	ロサンゼルス港(米国)	FC	三井E&S	2024年5月より現地実証開始(NEDO事業)
	バンクーバー港(カナダ)	FC	TYCROP	DP Worldのターミナルで実証予定
	東京港(日本)	FC	三井E&S	2024年10月より現地実証開始
	横浜港(日本)	FC	三井E&S	2025年度に現地実証予定
	神戸港(日本)	水素エンジン(専焼)	三井E&S等	2025年度に現地実証予定
	—	FC	三菱ロジスネクスト、住友重機械搬送システム	技術開発中
RMG	青島港(中国)	FC	不明	2020年に実証実施
ストラドルキャリア	アントワープ港(ベルギー)	水素エンジン(混焼)	TEREX	2023年にMSC PSAヨーロッパターミナルで実証実施
	—	FC	Konecranes、ZPMC	技術開発中
AGV	(導入港湾不明)	FC	GAUSSIN	
リーチスタッカー	バレンシア港(スペイン)	FC	Hyster	実証中
トップリフター	ハンブルグ港(ドイツ)	FC	Hyster	実証中
	ロサンゼルス港(米国)	FC	Hyster	実証中
		FC	豊田通商アメリカ、Taylor	実証中(NEDO事業)

RTG

- ◆ 豊田通商等がロサンゼルス港においてRTG等のFC化の実証事業を実施中(NEDO事業、2020~2025年度予定)
- ◆ 国内では、東京港、横浜港においてFC化、神戸港において水素エンジン化の実証事業を実施中。



左:全体、右:FCパワーパック搭載部分
(出典)三井E&S

ストラドルキャリア

- ◆ アントワープ港(ベルギー)MSC PSAヨーロッパターミナルにおいてTEREX製ストラドルキャリアの動力部をCMB製の水素混焼ディーゼルエンジン(水素比率70%)に改造した機材を実証(2023年)。



(出典)CMB.TECH社HP

リーチスタッカー

- ◆ バレンシア港(スペイン)港湾局が主導するH2Portプロジェクトの枠組みでHyster社のFCリーチスタッカーの実証を実施



(出典)Nuvera社HP

トップリフター

- ◆ 豊田通商等がロサンゼルス港においてトップハンドラー等のFC化の実証事業を実施中(NEDO事業、2020~2025年度予定)



(出典)ロサンゼルス港湾局HP 14

水素を燃料とする荷役機械等の開発・導入状況②

○FC(水素燃料電池)トラクター、小型フォークリフトを国内メーカーが商用化・技術開発中。

荷役機械等	港湾名(国名)	駆動方式	荷役機械等メーカー	概要
構内トラクター	ロッテルダム港(オランダ)、アントワープ港(ベルギー)	FC	Terberg	実証実施
	ロサンゼルス港(米国)	FC	Toyota Motor North America	
	サレルノ港(イタリア)、バレンシア港(スペイン)	FC	ATENA	実証実施
	青島港(中国)、濰坊港(中国)	FC	REFIRE	実証中
	アントワープ港(ベルギー)	水素エンジン(混焼)	CMB. TECH	実証実施
	<導入港湾不明>	FC	GAUSSIN	
構外トラクター	ロサンゼルス近郊	FC	Toyota Motor North America, Kenworth	実証実施
	ロサンゼルス港(米国)	FC	豊田通商、日野自動車	実証予定(NEDO事業)
	上海(中国)	FC	(不明)	郵船ロジスティクスが商業運用
フォークリフト	-	FC	豊田自動織機等	小型フォークリフト(~2.5t):販売中

(出典)報道発表資料等より国土交通省港湾局作成

構内トラクター

- ◆ Toyota Motor North America社とFenix Marine Service社と共同でロサンゼルス港でFC構内トラクターの実証を実施。



(出典)Toyota Motor North America社HP

- ◆ CBM.TECH社は水素混焼エンジンの構内トラクターの実証を実施。



(出典)CBM.TECH社HP

構外トラクター

- ◆ Yusen Logistics (China) Co., Ltd. は、上海において水素燃料電池トラックを導入。2023年4月、運用を開始した。
- ◆ 導入したトラックは海上コンテナを輸送するドレイジ車で、同社倉庫と上海港間の輸送を行う。



(出典)郵船ロジスティクスHP

フォークリフト

- ◆ 小型フォークリフト(1.75t、2.5t)が販売中、空港、製造業等で利用されている。



(出典)豊田自動織機HP

国内における水素燃料荷役機械の導入実証事業

○ 東京港や横浜港・神戸港において、水素を燃料とする荷役機械の導入に向けた実証事業が進んでいる。

東京港

- 実施主体
東京都港湾局、日本郵船(株)、(株)ユニエックスNCT、(株)三井E&S、岩谷産業(株)
- 実施内容
水素燃料電池型RTGによる荷役作業等
- 実施期間(荷役作業)
R6.10~R7.3(予定)



(出典)東京都 HP

水素燃料電池型RTG

横浜港

- 実施主体
国土交通省関東地方整備局
- 実施内容
水素燃料電池型RTGによる荷役作業等
- 実施期間(荷役作業)
R7年度(予定)



(提供)宇徳

RTG(水素燃料電池に換装予定)

神戸港

- 実施主体
国土交通省近畿地方整備局
- 実施内容
水素エンジン型RTGによる荷役作業等
- 実施期間(荷役作業)
R7年度(予定)



(提供)商船港運

RTG(水素エンジン発電機に換装予定)

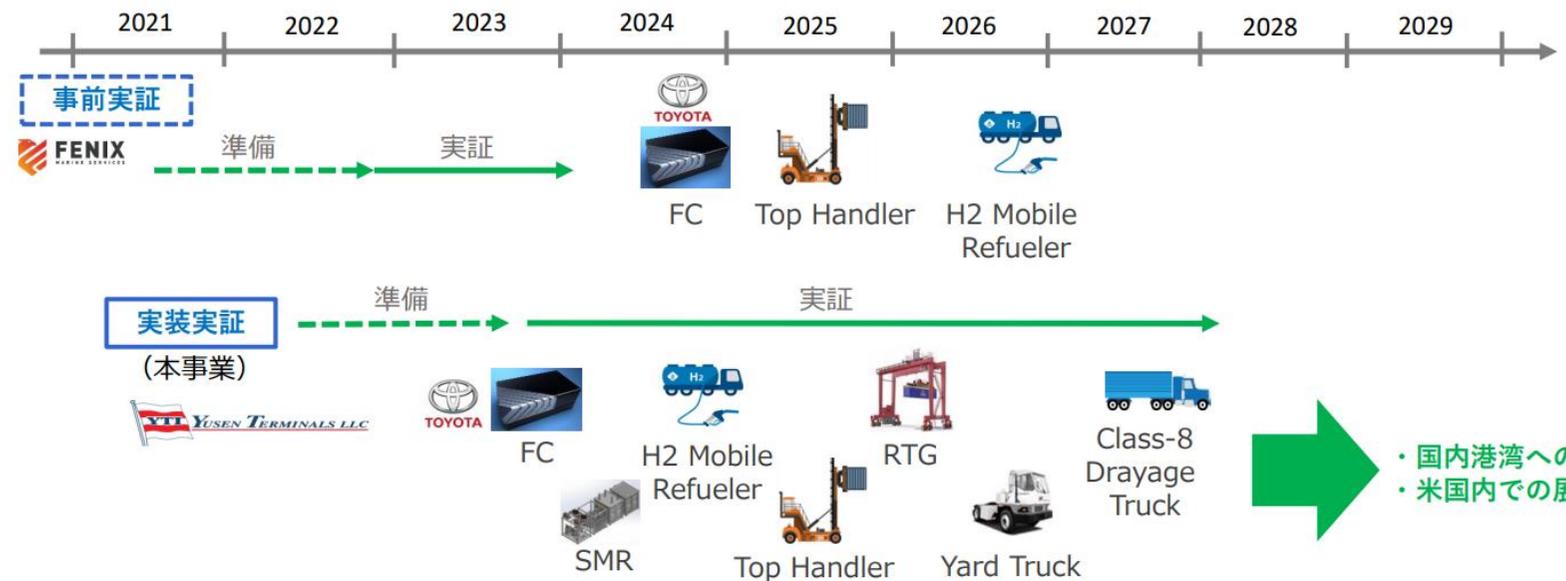
海外における水素燃料荷役機械の導入実証事業

○ 北米ロサンゼルス港のコンテナターミナルにおいて、水素を燃料とする港湾荷役機械等(RTG、トップハンドラー、構内トラクター、構外トラクター)を実使用し、多面的な検証を行う実証事業が行われている。

■ 北米ロサンゼルス港における港湾水素モデルの事業化に向けた実証事業(NEDO事業)

- 実施主体
豊田通商(株)、Toyota Tsusho America, Inc.、(株)三井E&S、PACECO CORP.、日野自動車(株)、Hino Motors Manufacturing U.S.A.,Inc.
- 実証期間
2022年1月～2026年3月(予定)

ポテンシャル調査結果を踏まえて港湾水素モデルの実装実証にトライ



水素燃料電池トップハンドラーと水素供給設備



水素燃料電池RTG

水素燃料RTGの駆動方式

- 「水素燃料電池型」「水素エンジン型」には一長一短があり、今後の水素キャリアの動向や港湾の特性（供給可能な水素の特性）等により、駆動方式が選択されていくものと想定される。
- 両者は連続稼働時間が異なり、水素供給オペレーションも異なるため、現地実証（実荷役）により、効率的な荷役のためのオペレーションの検討が必要。

RTGの駆動方式による相違点

	水素燃料電池型	水素エンジン型	【参考】従来型 (ディーゼル)
概要	水素と酸素を化学反応させて発電する	水素の燃焼反応により発電する	ディーゼルの燃焼反応により発電する
発電容量	100kVA級	100kVA級	500kVA級
水素消費量(理論値)	約4kg/h(○:低燃費)	約5~6kg/h(△:燃費が悪い)	—
燃料水素純度	99.97% (△:高純度の水素しか利用できない)	95%以上 (○:低純度の水素も利用できる →MCHを水素キャリアとして利用しやすい)	—
タンク容量	水素約70kg	水素約70kg(高圧ガス水素の場合)	—
連続稼働時間	16時間	12時間程度 (高圧ガス水素の場合)	40時間

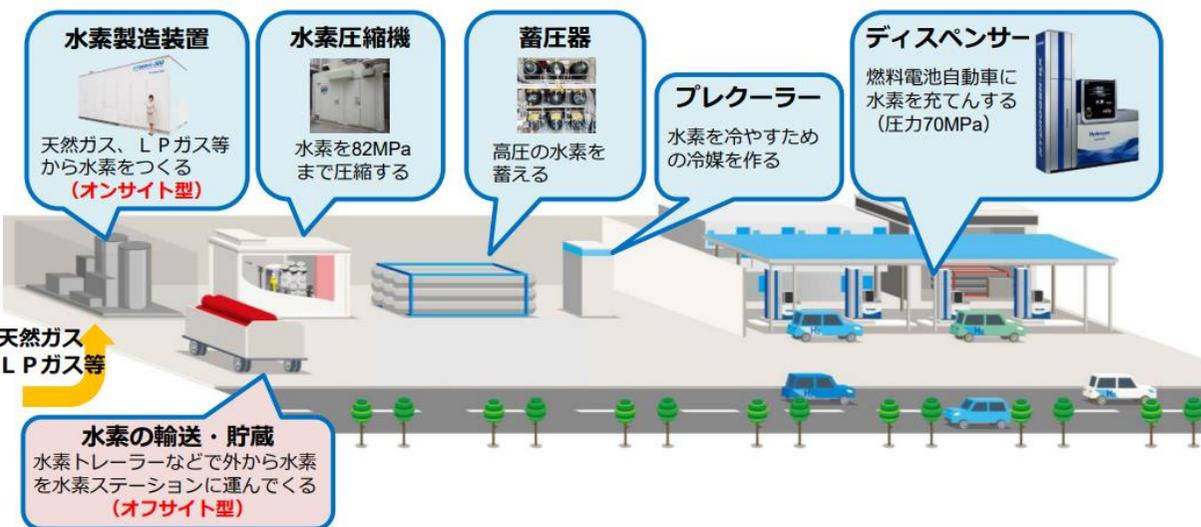
水素キャリアの相違点

	高圧ガス水素	MCH(+脱水素器)
概要	水素ガスを高圧(82MPa程度)まで圧縮したもの	トルエンに水素を付加して水素化したもの
メリット	技術開発要素が少ない 脱水素(水素キャリアからの水素の脱離)の必要がない	常温・常圧で液体での輸送が可能(輸送が効率的) 道路輸送可能 ガソリン用インフラの活用が可能(輸送・貯蔵のリスクを低減できる)
デメリット	道路輸送不可(45MPa以下で輸送する必要あり) 輸送が非効率	技術開発要素が多い 脱水素、脱水素後のトルエン回収の必要がある

3. 水素の供給体制について

- 水素充填設備(水素ステーション)はFCV(バス、トラック、乗用車等)向けの設備(定置式(オンサイト型、オフサイト型)、移動式)が各地に整備されている。
- RTGに水素充填する場合、コンテナターミナル内に水素ステーションの新設が必要となる。
- 定置式水素ステーションの設置は初期投資が大きく、一定量の水素需要が前提となる。一方、商用化されている移動式ステーションは水素充填能力が小さく、RTGへの充填には非常に時間を要する(1台/8h程度)。

水素ステーションの構成



(出典)日本水素ステーションネットワーク合同会社資料

水素ステーションの種類と特徴

方式	特徴	長所	短所
オンサイト型	水素ステーション内で、都市ガスやLPG等を原料にして、水素を製造する	<ul style="list-style-type: none"> ● 水素供給能力が大きい ● 在庫に合わせて水素を製造できる ● 水素の輸送コストが不要 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 建設コストが大きい ✓ システムの立ち上げに時間がかかる
オフサイト型	水素ステーション以外の場所から水素を運んでくる	<ul style="list-style-type: none"> ● 建設コストがオンサイトより小さい ● システムの立ち上げが早い 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素の供給能力がオンサイトより小さい(液水では大) ✓ 水素の輸送コストがかかる
移動式	大型のトレーラーに水素供給設備を設置して、移動できるもの	<ul style="list-style-type: none"> ● 複数の場所での運用が可能 ● 狭い敷地でも水素充填ができる ● 定置式に比べ低コスト 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 水素供給能力が小さい ✓ 車両移動後、充填の準備に時間がかかる

(出典)日本水素ステーションネットワーク合同会社資料

水素ステーションの規模・能力・敷地面積

規模	圧縮機能力	充填能力	敷地面積※
FCバス対応	600~2,000Nm ³ /h	バス:6台/h、乗用車:18台/h	1,000~2,000m ²
中型	300Nm ³ /h	バス:1台/h、乗用車:6台/h	600~1,000m ²
小型	150Nm ³ /h	乗用車:3台/h	約500m ²
移動式	100Nm ³ /h	乗用車:2台/h、RTG:1台/8h	約500m ²

(出典)日本水素ステーションネットワーク合同会社資料より国土交通省港湾局作成